

**Методи та засоби підвищення реалістичності відтворення кольорів  
у засобах комп'ютерної графіки**

Виконала:  
Піддубецька М. П.

Науковий керівник:  
к.т.н., доц. Рейда О. М.



# Методи та засоби підвищення реалістичності відтворення кольорів у засобах комп'ютерної графіки

**МЕТА роботи** - підвищення реалістичності відтворення кольорів у засобах комп'ютерної графіки.

**ОБ'ЄКТ дослідження** - процес зафарбовування тривимірних графічних об'єктів у системах комп'ютерної графіки.

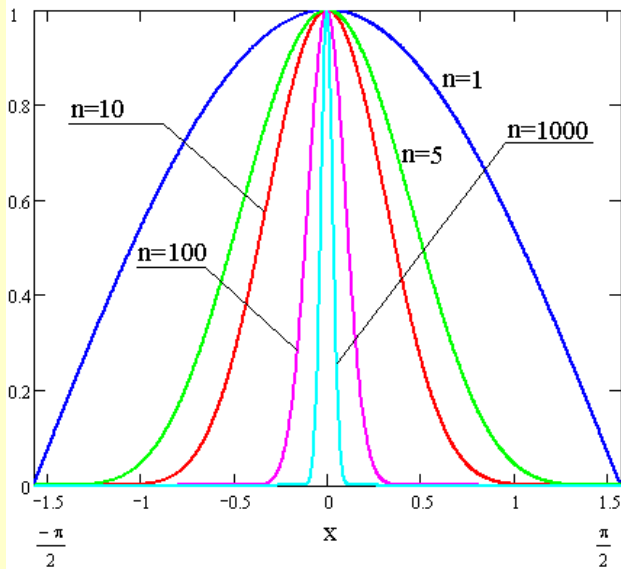
**ПРЕДМЕТ дослідження** - високопродуктивні засоби зафарбовування тривимірних об'єктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

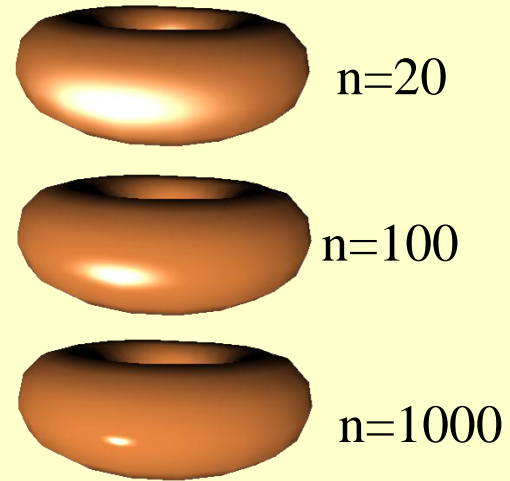
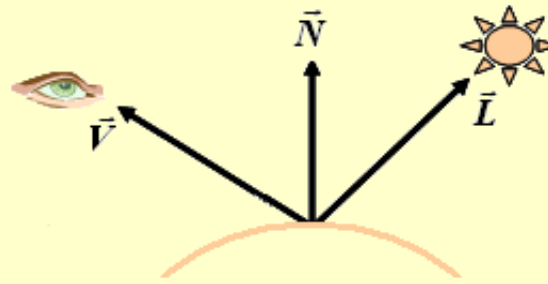
- Проаналізувати існуючі моделі освітлення та методи зафарбування у комп'ютерній графіці.
- Розробити нові методи та моделі освітлення на основі двопроменевої функції відбивної здатності поверхні.
- Розробити засоби підвищення реалістичності моделей освітлення за рахунок підвищення їх фізичної адекватності.
- Розробити методи перспективно-коректного зафарбування об'єктів.
- Розробити програмне забезпечення для моделювання отриманих результатів.
- Дослідити ефективність розроблених моделей.

# Дистрибутивна функція відбивної здатності поверхні

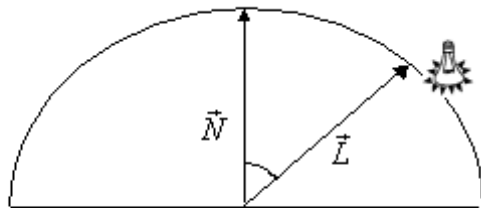
Функція  $\cos^n$  уявляється найбільш поширеною дистрибутивною функцією відбивної здатності поверхні.



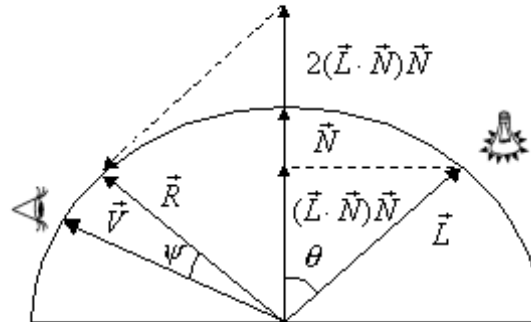
$$\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{V}}{|\vec{L} + \vec{V}|}, \quad n \in [1, 1000].$$



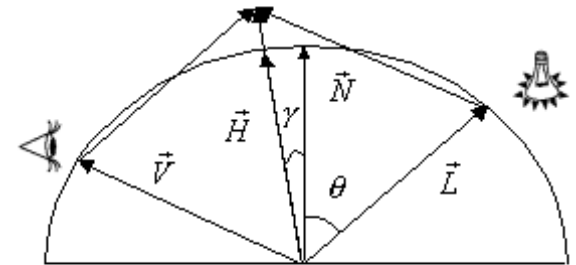
$$I = k_a I_a + I_i (k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s (\vec{N} \cdot \vec{H})^n)$$



Модель освітлення Ламберта



Модель освітлення Фонга



Модель освітлення Бліна

# Квадратична апроксимація ДФВЗ

$$\cos^n x = a \cdot \cos^2 x + b \cdot \cos x + c$$

при  $x=0$   $\cos^n \gamma = 1$ , тому можна записати, що  $a+b+c=1$

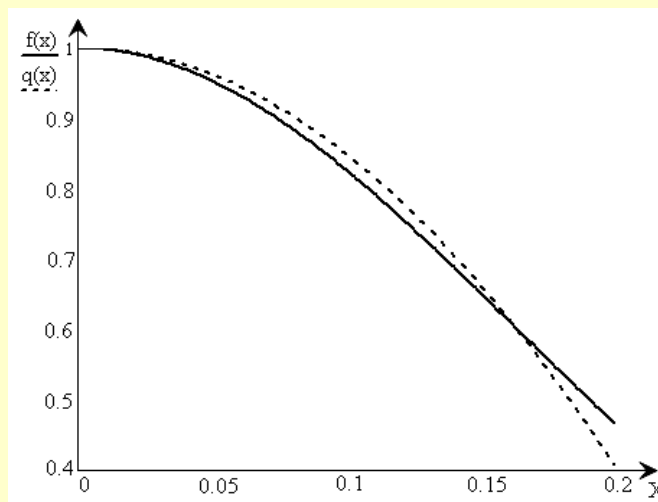
якщо  $\cos x = 0$ , то  $\cos^n \gamma$  також дорівнюватиме 0, звідси:

$$a \cdot 0 + b \cdot 0 + c = 0$$

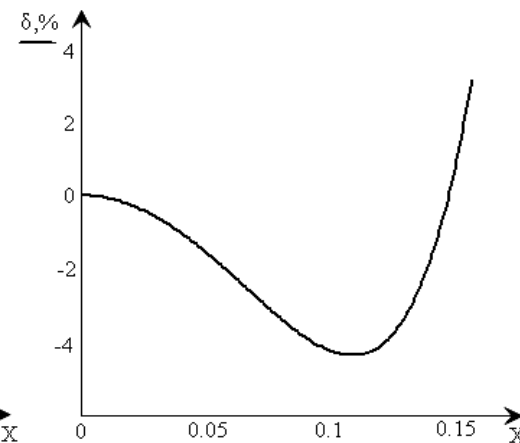
$$c = 0, \text{ а } b = 1 - a$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{1}{\sqrt{n-1}}\right)$$

$$a = \frac{\cos^{n-1}\left(\arctg\left(\frac{1}{\sqrt{n-1}}\right)\right) - 1}{\cos\left(\arctg\left(\frac{1}{\sqrt{n-1}}\right)\right) - 1}$$



Квадратична апроксимація



Відносна похибка

**Недолік:** різке спадання зони затухання відблиску.

# Модель відбивної здатності поверхні з використанням косинус-квадратичної функції

Для апроксимації дистрибутивної функції  $\cos^n \gamma$

використаємо косинус-квадратичну функцію

$$\cos^n \gamma = W(\gamma, n) \quad W(\gamma, n) = (\zeta \cdot (\cos \gamma - 1) + 1)^2$$

$$(\zeta \cdot (\cos \gamma - 1) + 1)^2 = 0$$

$$\gamma = \arccos((\zeta - 1) / \zeta)$$

$$\cos^n \gamma = (\zeta \cdot (\cos \gamma - 1) + 1)^2$$

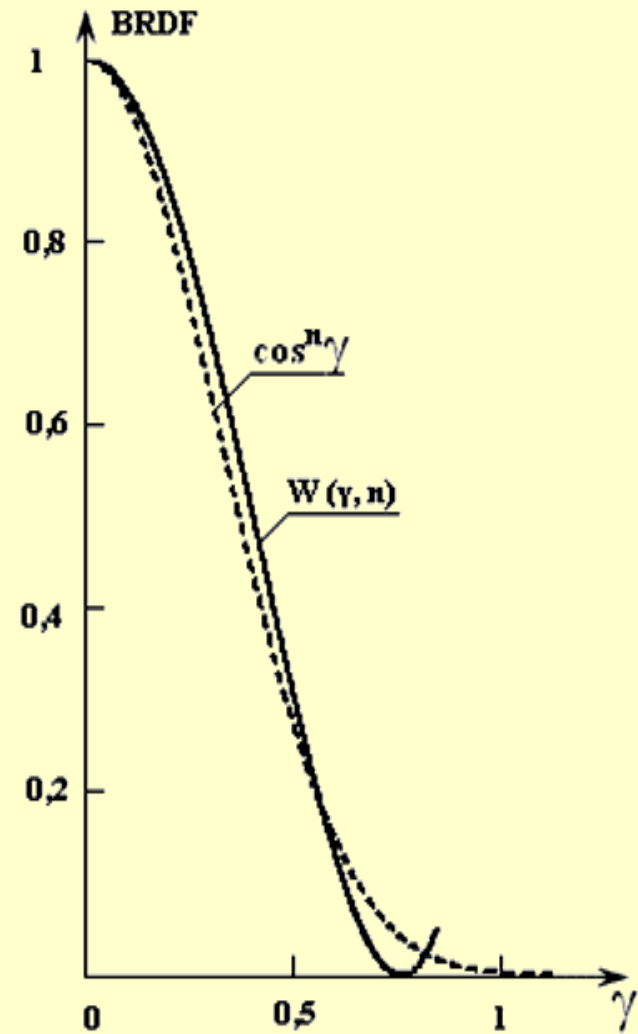
Знайдемо визначений інтеграл:

$$\int_0^{\arccos\left(\frac{\zeta-1}{\zeta}\right)} [\zeta \cdot (\cos \gamma - 1) + 1]^2 \cdot \sin \gamma d\gamma = \frac{1}{3 \cdot \zeta}$$

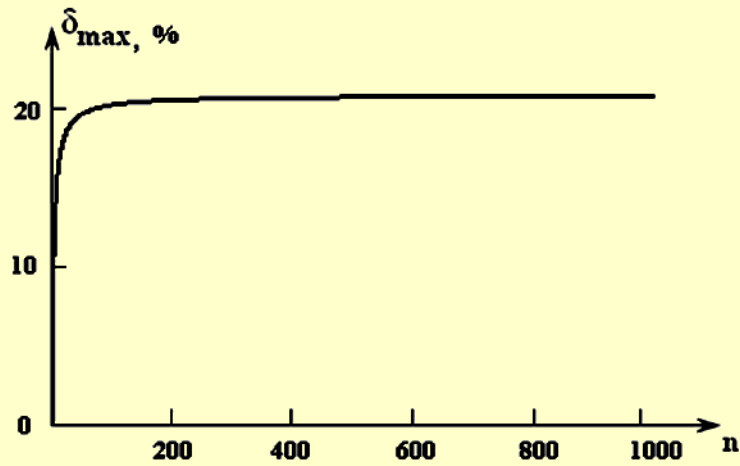
Прирівнявши праві частини отриманих виразів, знаходимо, що :  $\zeta = (n+1) / 3$

Нова формула має такий вигляд:

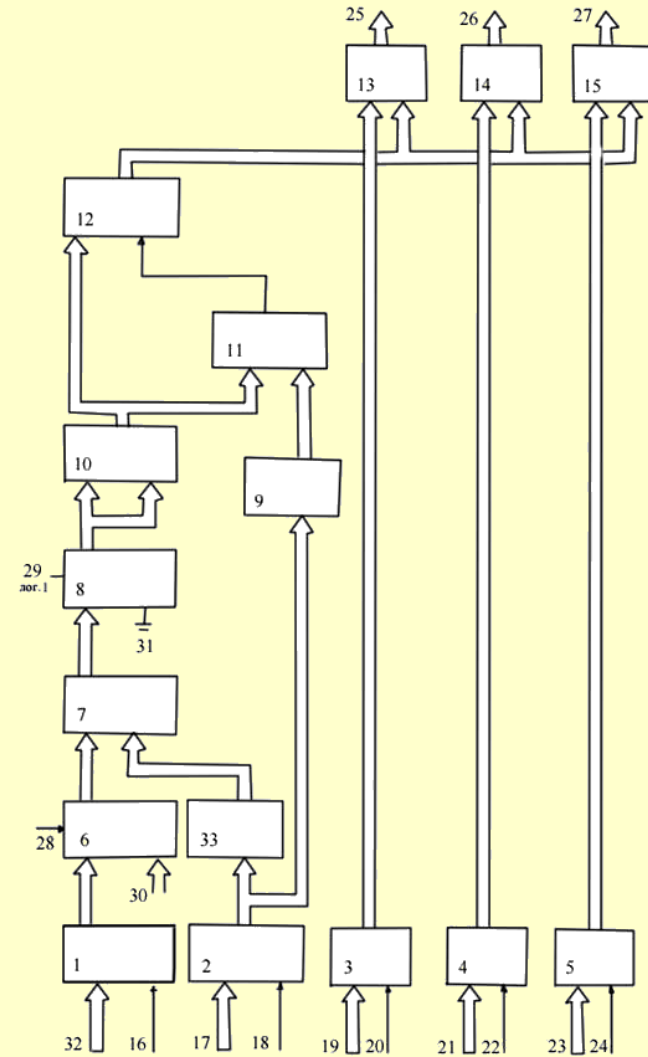
$$\cos^n \gamma \approx \left( \frac{(n+1)}{3} \cdot (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^2$$



# Апаратна реалізація ДФВЗ



Залежність максимальної відносної похибки апроксимації від коефіцієнта n



Структурна схема блока визначення інтенсивності спекулярної складової кольору

# Модифікація ДФВЗ Шліка

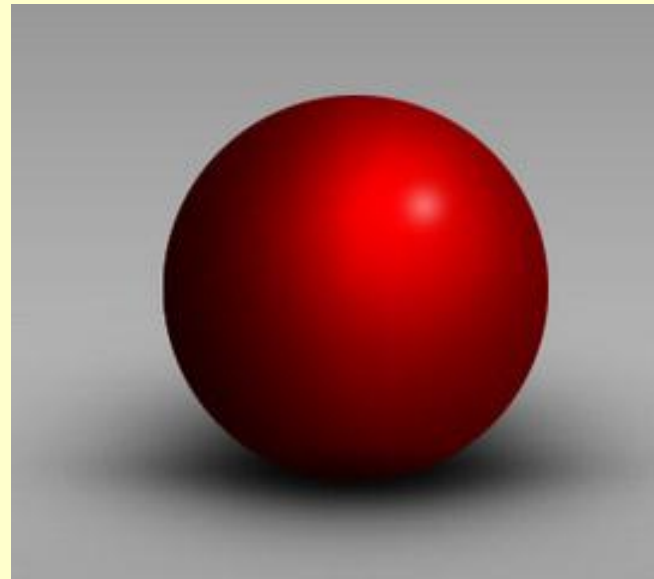
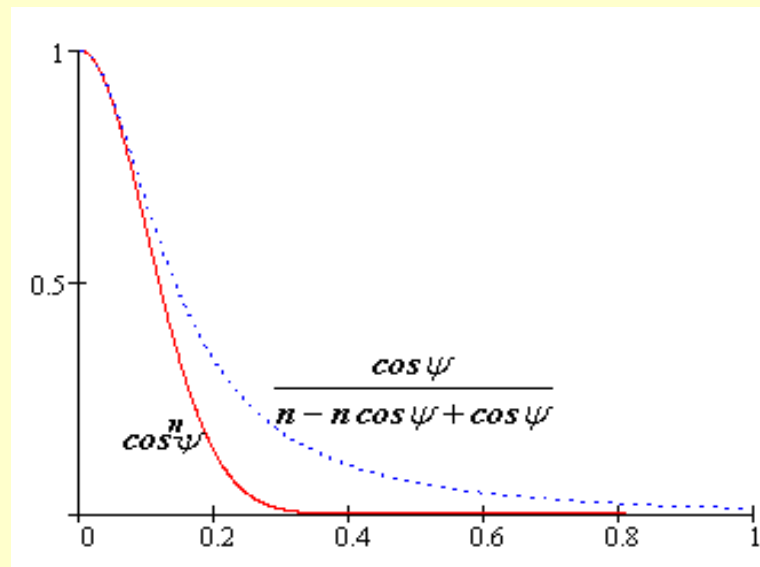
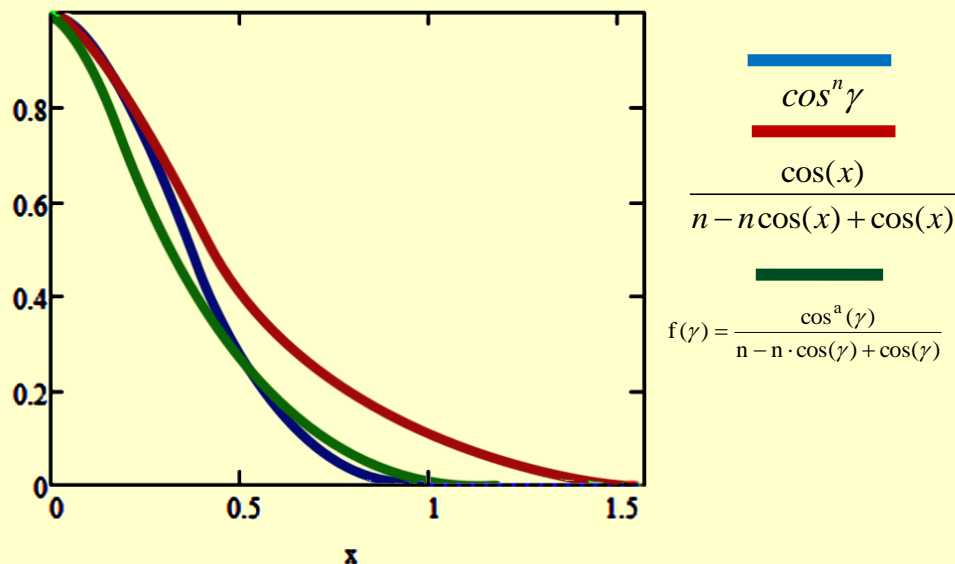
ДФВЗ Шліка:  $S_n(\cos x) = \frac{\cos x}{n - n \cos x + \cos x}$

**Недолік:** повільне спадання функції у зоні згасання відблиску.

**Пропонується така апроксимація:**

$$f(\gamma) = \frac{\cos^a(\gamma)}{n - n \cdot \cos(\gamma) + \cos(\gamma)}$$

$a \ll n$  вибирається залежно від значення коефіцієнта спекулярності



# Розробка енергетично-коректної двонаправленої функції відбивної здатності поверхні

Направлена напівсферична інтегральна відбивальна здатності поверхні:

$$R(\hat{L}) = \int_{\Omega} f_r(\hat{L}, \hat{V}) \cos \theta_0 \, d\omega_0 \quad \text{Енергетично-коректна ДФВЗ має відповідати умові:} \quad \int_{\Omega} f_r(\hat{L}, \hat{V}) \cos \theta_0 \, d\omega_0 \leq 1$$

Умова відповідності закону збереження енергії для запропонованої ДФВЗ:

$$\int_{\Omega} \left( \frac{n+1}{3} \cdot (\cos \theta_h - 1) + 1 \right)^2 \cos \theta_0 \, d\omega_0 \leq 1$$

Коефіцієнт для запропонованої ДФВЗ має вигляд:  $\frac{n+A}{B}$  де А і В – деякі сталі

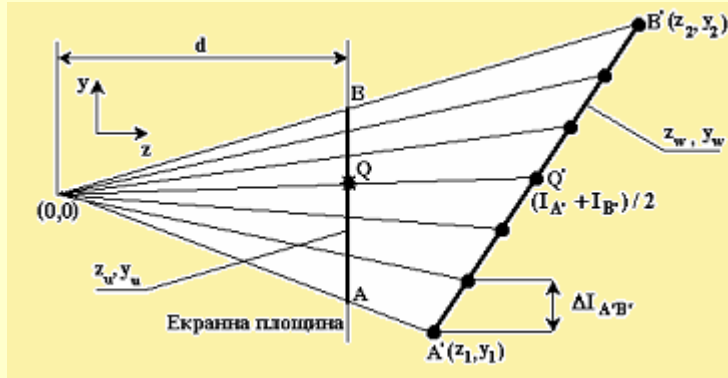
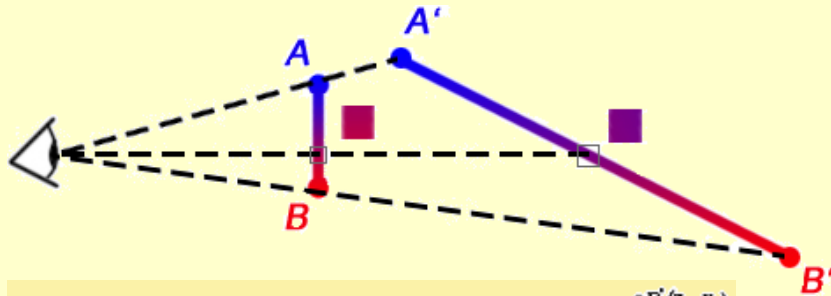
Запропонована енергетично коректна ДФВЗ:

$$F(n, \gamma) = \frac{n+6}{24.55} \left( \frac{n+1}{3} \cdot (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^2$$





# Перспективно-коректне зафарбування

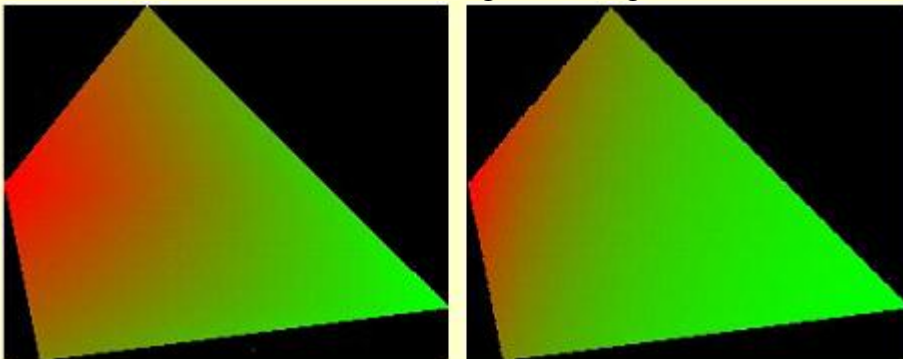
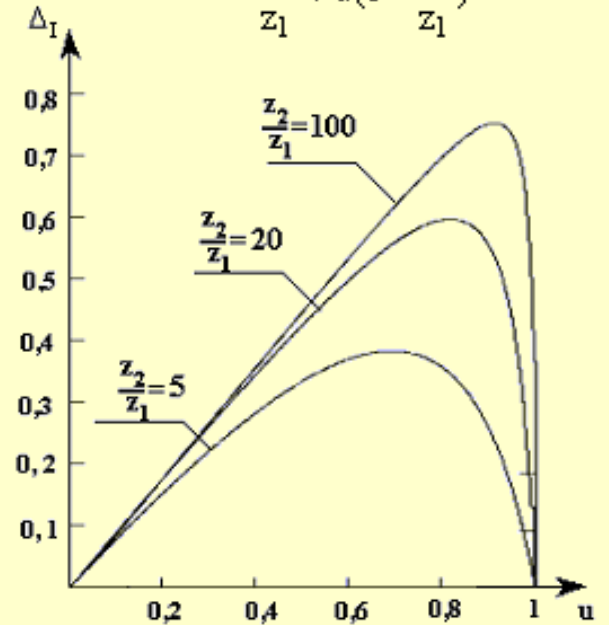


$$\Delta I = I_A + (I_B - I_A) \cdot \frac{u \cdot z_1}{z_2 - u \cdot (z_2 - z_1)} - I_A - (I_B - I_A) \cdot u =$$

$$= (I_B - I_A) \cdot u \left( 1 - \frac{1}{\frac{z_2}{z_1} + u \left( 1 - \frac{z_2}{z_1} \right)} \right)$$

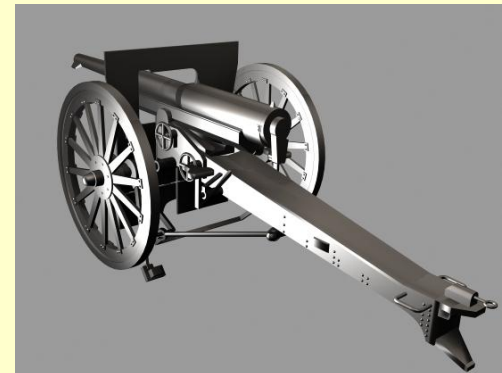
$$I_V = I_A + \frac{u \cdot z_1}{z_2 - u \cdot (z_2 - z_1)} (I_B - I_A)$$

$$\Delta_I = u \left( 1 - \frac{1}{\frac{z_2}{z_1} + u \left( 1 - \frac{z_2}{z_1} \right)} \right)$$

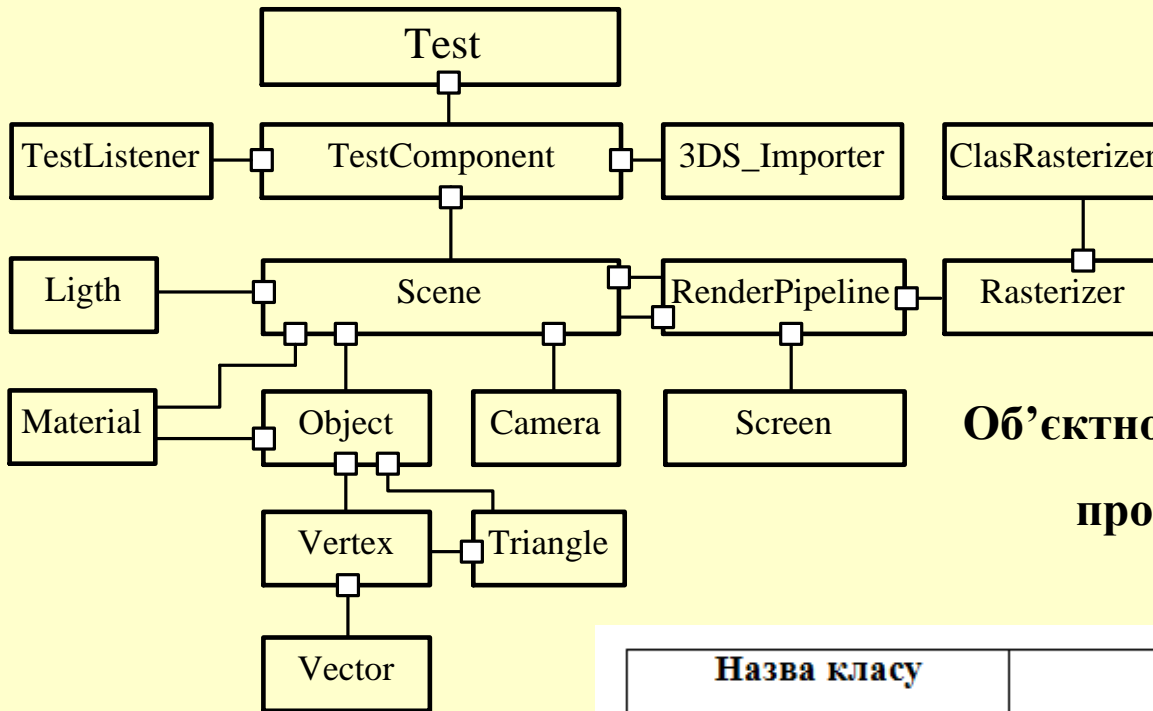


а)

б)



# Розробка програмних засобів

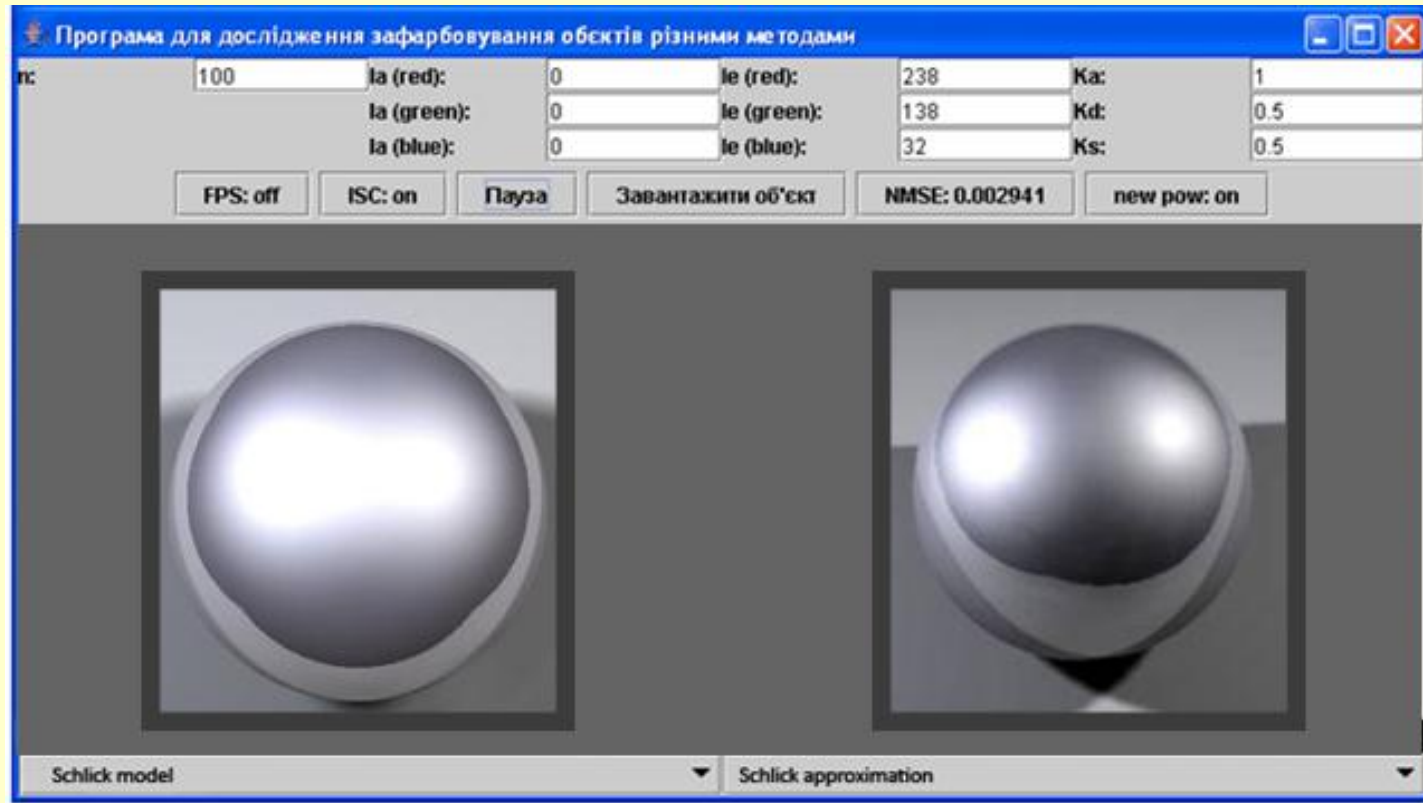


**Об'єктно-орієнтована модель  
програмного модуля**

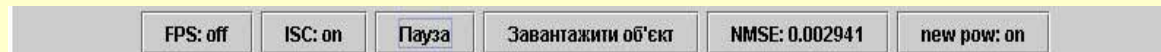
**Короткий опис класів,  
які використовуються  
в програмі**

Назва класу	Опис класу
idx3d_3ds_Exporter	Реалізує збереження об'єкта в файл
idx3d_3ds_Importer	Завантаження об'єкта з файлу (він повинен бути розміщений в тій ж директорії, що й програма та мати розширення *.3ds )
idx3d_3ds_Camera	Реалізує розташування камери в сцені
idx3d_3ds_Color	Реалізуються різні операції з кольором
idx3d_3ds_CoreObject	Забезпечує реалізацію основних методів роботи з об'єктом, та основні властивості того ж об'єкта

# Розробка програмних засобів



**Графічний інтерфейс розробленого програмного модуля**



**Набір кнопок для керування процесом**

# Реалізація ДФВЗ у складі шейдерних програм

Шейдер – це програма для одного із етапів графічного конвеєра, що використовується в тривимірній графіці для визначення параметрів об'єкта чи зображення.

**Вихідні дані для вершинного шейдера:**

**POSITION** – позиція;

**PSIZE** – розмір точки;

**FOG** – коефіцієнт «туманності» для вершини;

**COLOR** – колір;

**TEXCOORD** – текстурні координати.

**Вихідні дані для фрагментного шейдера:**

**COLOR** – колір;

**DEPTH** – значення глибини.



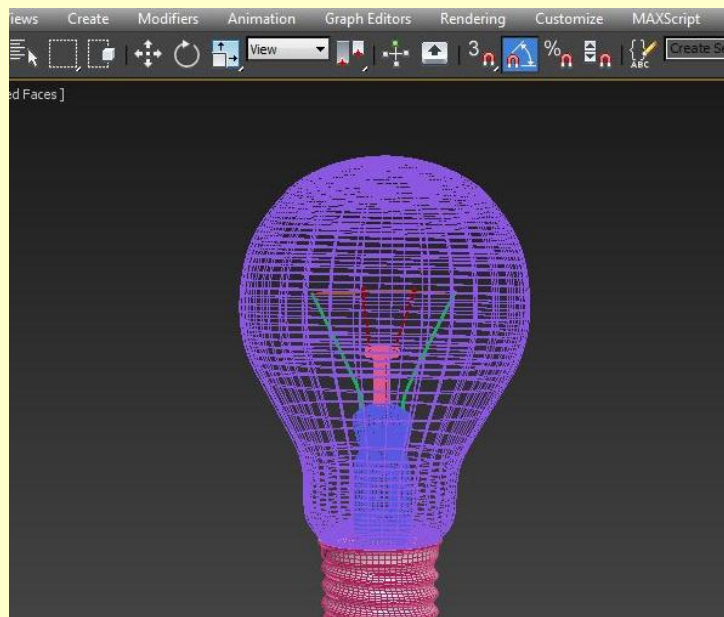
# Експериментальні дослідження

Нормована середньоквадратична похибка (NMSE) - візуальна відмінність між двома зображеннями, яку визначають за формулою:

$$NMSE = \frac{\sum_i (R_1(i) - R_2(i))^2 + (G_1(i) - G_2(i))^2 + (B_1(i) - B_2(i))^2}{\sum_i R_1(i)^2 + G_1(i)^2 + B_1(i)^2}$$

ДФВЗ	Максимальне значення NMSE при формуванні тестових фігур
Модифікація ДФВЗ <u>Шліка</u> : $f(\gamma) = \frac{\cos^a(\gamma)}{n - n \cdot \cos(\gamma) + \cos(\gamma)}$	0,00011
Квадратична $\cos^n x = a \cdot \cos^2 x + b \cdot \cos x + c$	0,00026 при $n < 170$ . В інших випадках NMSE < 0,0002
Косинус-квадратична апроксимація моделі <u>Фонга</u> $\left( \frac{(n+1)}{3} \cdot (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^2$	0,00008

# Приклади сформованих зображень



# Наукова та практична цінність отриманих результатів


## Наукова новизна одержаних результатів:

- Подальшого розвитку дістали моделі двопроменевої функції відбивної здатності поверхні
- Розроблено апроксимацію ДФВЗ квадратичною функцією
- Розроблено модель з використанням косинус-квадратичної функції
- Подальшого розвитку отримала модифікація функції Шліка, яка значно точніше відтворює як зону відблиску, так і зону блюмінгу.
- Запропоновано методи перспективно-коректного зафарбування
- Розроблено енергетично-коректну ДФВЗ, яка забезпечує виконання закону збереження енергії, що забезпечує підвищення реалістичності.

## Практичне значення одержаних результатів:

- Розроблено шейдерні програми, які інтегровано в професійний графічний конвеєр 3dfx.
- Отримані експериментальні оцінки для розроблених моделей і методів.
- Запропоновано нову структуру пристрою для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, захищену патентом України.
- Розроблено програму для відтворення спекулярної складової кольору, яку захищено авторським правом на твір у Державній службі інтелектуальної власності України.

**Результати опубліковано в опубліковано в 11 наукових працях, з яких 2 статті опубліковано у виданнях, що входять до переліку фахових видань, затверджених ВАК України, 1 патент України на корисну модель, 2 свідоцтва на реєстрацію авторських прав на комп'ютерні програми у Державній службі інтелектуальної власності України, 7 тез доповідей**



**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**